

## 宇宙と地上と人をつなぐ社会実装拠点(2022)

高野敦\*<sup>1</sup> 喜多村竜太\*<sup>2</sup> 藤本滋\*<sup>3</sup> 高橋賢一\*<sup>3</sup> 高橋晶世\*<sup>4</sup> 正井卓馬\*<sup>4</sup> 植村寧夫\*<sup>5</sup> 堤健児\*<sup>5</sup> 國廣 愛彦\*<sup>6</sup>

田徳 宣章\*<sup>6</sup> 恩塚 彰也\*<sup>5</sup> 大矢 晃示\*<sup>5</sup>

## The social implementation base for connecting space, ground, and people (2022)

Atsushi TAKANO\*<sup>1</sup> Ryuta KITAMURA\*<sup>2</sup> Shigeru FUJIMOTO\*<sup>3</sup> Kenichi TAKAHASHI\*<sup>3</sup> Akiyo TAKAHASHI\*<sup>4</sup> Takuma MASAI\*<sup>4</sup>

Shizuo UEMURA\*<sup>5</sup> Kenji TSUTSUMI\*<sup>5</sup> Yoshihiko KUNIHICO\*<sup>6</sup> Nobuaki TATOKU\*<sup>6</sup> Akiya ONZUKA\*<sup>5</sup> Koji OYA\*<sup>5</sup>

### 1. 緒言

このプロジェクト研究では、宇宙連携拠点プラットフォーム構築を最終目的とした研究開発を推進している。第1弾として、神奈川大学をはじめとした大学および企業の連携により、安全で低コストな宇宙輸送手段の確立・関連技術開発および産業的な視点を持った人材育成を目指している。さらにこの開発を通じて宇宙/民生分野ニーズ・シーズのマッチング機能・プロセス・体制を整え、プラットフォーム化を目指している。

2022年度(2022年10月~2023年9月)は「ハイブリッドロケットによる低コスト宇宙輸送手段の確立：#2 高度100kmへの到達」を着手したが、2022年10月に実施した打ち上げにおいて、目標高度30kmに対して実績が3.7kmと未達成となったため第一段階の計画「ハイブリッドロケットによる低コスト宇宙輸送手段の確立：#1 高度30kmへの到達」を確実に達成するための研究開発も同時に進め、さらにそれらにかかわる人材の育成を進めた。

### 2. 強制気圧分離回路の開発

2022年10月に実施した打ち上げ試験では機体の分離信号（ニクロム線により分離するセパレーションナットへの電力供給）をタイ

マーおよび地上のコマンドで発生させ、かつ分離状態を地上に無線で送信する強制分離回路をはじめ、GPSや大気圧データを送信するテレメトリの信号は打ち上げ直前まで通信が停止することなく、通信途絶が頻発した2021年度よりも改善した。しかし2022年度での打ち上げにおいて、強制分離回路のうち、1段目は打ち上げ後5秒で、2段目は35秒で途絶した。原因は新たに気圧による高度計測結果に基づき分離信号を発生する基板（気圧分離基板）を追加し、基板を4層構造にしたことにより横方向の加速度に対する強度が低下、飛行中に横加速を受けて破損し、通信が途絶した可能性が考えられた<sup>[1]</sup>。この結果を受けて、プロジェクトメンバーのフルハートジャパンと共同で、強制分離回路と気圧分離基板を統合した強制気圧分離回路を開発した。従来、分離基板、メイン基板、バッテリー基板2枚の4枚で構成されてきたものを、2023年度は図1のように分離基板+メイン基板、バッテリー基板の2枚で構成した。また、メイン基板2枚相互間の接続を削減することによ

る作業性および信頼性の向上も狙いとした。地上での分離試験、真空動作試験を完了させた。

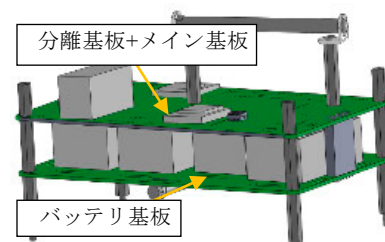


図1 強制気圧分離回路

る作業性および信頼性の向上も狙いとした。地上での分離試験、真空動作試験を完了させた。

### 3. アンテナ展開式GPS発信機の開発<sup>[2]</sup>

2022年10月に実施した打ち上げ試験では、GPSによる位置座標および気圧による高度を送信するテレメトリ2台は着水後に通信が途絶した。この原因として海水による電波の遮蔽あるいは、パラシュート未開傘による着水衝撃による破損と推定された<sup>[1]</sup>。前者の海水での遮蔽に対応するため、着水によってアンテナが展開、海面上に浮上するアンテナ展開式GPS発信機を開発した。

\*<sup>1</sup> 教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*<sup>2</sup> 特別助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*<sup>3</sup> 客員教授 工学研究所

Visiting Professor, Research Institute for Engineering

\*<sup>4</sup> 客員研究員 工学研究所

Visiting Researcher, Research Institute for Engineering

\*<sup>5</sup> 特別研究員 工学研究所

Research Fellow, Research Institute for Engineering

\*<sup>6</sup> プロジェクト研究メンバー 工学研究所

Research Member, Research Institute for Engineering

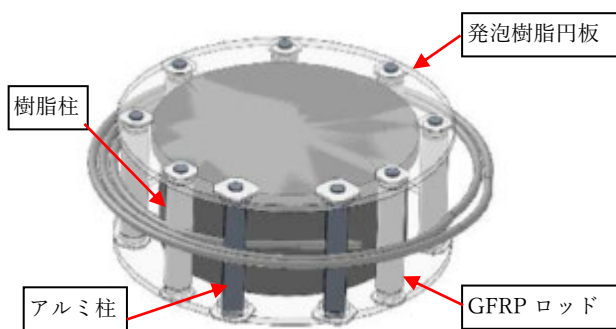


図2 柱状部品と円板を用いたモデル

ロケット機体内に搭載することから機体分離前はアンテナを収納させ、機体分離後にアンテナを展開浮上させる必要があるため、図2に示すアンテナを弾性体のガイドに沿わせて本体に巻き付け、水溶性の糸で発泡樹脂円板に固縛する。着水によって水溶性の糸が溶け、弾性体のロッドのばね力で展開する機構を考案した。本体は安価かつ水密が確保できるタッパーを用いた。

ガイドは小さい半径で巻き付けることができ、この要求を満たすには、曲げ強度が大きく弾性率が小さいものが求められる。収納時の曲げ応力で塑性変形が残らない材料のなかでいくつか比較検討を行ったところ、GFRPが最適であることがわかりこれを採用した。また、展開後にアンテナを支持した状態でたわみにくいことが要求される。これについてはロッドの本数を増やすことで対応した。

水中でアンテナを鉛直に立てるためには、アンテナによる転倒モーメントに対抗するための復元モーメントが必要となる。これは図3に示すようにアンテナと同様に海面下にGFRPロッドによっておもりを展開することで対応した。



図3 製作したアンテナ展開式GPS発信機

また、この場合のモーメントの余裕の指標として復元モーメントを転倒モーメントで除したモーメント余裕 $k$ を定義して設計の目安とした。また、海面上に浮上する必要から、浮力を自重で除した浮力余裕 $f$ も定義し、これらは何回か実施したプール(図4)および海での展開試験の実績値を元に基準値を求めた。これらの結果からおもりなどを調整し、海での展開試験を行ったところ、図5に示すように巻き付けたアンテナは垂直に展開し、同時にGPS位置情報の受信にも成功した。図6にリアルタイムでGPSデータを表示するために地図ソフトカシミール3Dを用いてGPSデータを地図に反映させたものを示す。この試験においては、機体に強制気圧分離基板およびGPS大気圧テレメトリも搭載し、同時に複数の電波を発信しても混信などによる停波が起らないことも確認した。

#### 4. ハイブリッドロケットの姿勢制御のための基礎研究

現在のハイブリッドロケット機体は、フィンによって空力的な安定を得ている。しかし高度30km以上になると空気密度が極端に減り、空気力による安定は望めなくなる。固体ロケットではスピンの

よる安定を採用している例もあるが、ハイブリッドロケットは液体の酸化剤を使用しているため、スピン安定を採用した場合、酸化剤のスロッギングによる粘性消散によりフラットスピンに移行してしまうためにスピンによらない姿勢制御が必要である。姿勢制御には制御用のスラスタを用いることやノズルをジンバルによって傾けることが考えられるが、別系統のスラスタを設ける必要があることやノズルのジンバリングには高温の燃焼ガスが流れる箇所に可動部を設ける必要が生じる。そこでエンジンそのものを傾げることを念頭に、制御を実装する前段階としてジンバルの飛行ロボットを開発することを目標としている。そこで、倒立振り子ロボットを用いて制御手法について調査し、一自由度ロボットの開発に着手した。

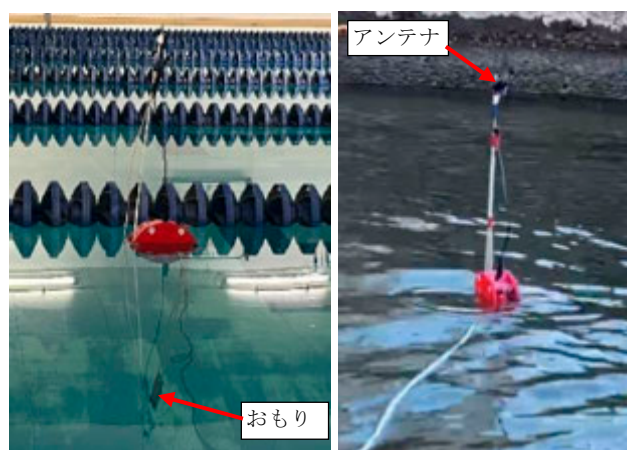


図4 展開試験(プール)

図5 展開試験(海)



図6 GPSデータ

#### 5. 結言

本プロジェクトの第2段階である高度100kmへ到達するための開発に着手した。同時に、本稿では紹介できなかったが、エンジンの開発をはじめ、第1段階の高度30kmへ到達するための開発の未達の部分についても開発を継続した。強制分離回路と気圧分離回路を統合したことおよびアンテナ展開式GPS発信機の開発により、2022年に生じた分離不具合およびGPS位置座標途絶による機体の未回収は解消されるものと期待している。

#### 参考文献

- [1] 大槻龍一, 服部建太, 高野敦, 喜多村竜太, 國廣愛彦, 三宅真, ハイブリッドロケットの無線通信の混信対策, 令和四年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2022-008(相模原, 2023).
- [2] 大村和睦, 下司真也, 高野敦, 喜多村竜太, 川村俊一, アンテナ展開式GPS発信機, 第38回宇宙構造・材料シンポジウム, A06(相模原, 2023).